昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*, December 2011, 54(12): 1377 - 1383 ISSN 0454-6296

东莨菪内酯对朱砂叶螨实验种群的亚致死效应

雍小菊，张永强，丁 伟*
（西南大学植物保护学院，重庆 400715）

摘要：为明确东莨菪内酯对朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus*（Boisduval）实验种群的亚致死效应，为其作为植物源杀螨剂的进一步开发及应用提供理论依据，在室内采用叶碟饲养的方法，并利用生命表技术研究了东莨菪内酯亚致死剂量对朱砂叶螨 F_0 代和 F_1 代种群生长发育和繁殖的影响。结果表明：东莨菪内酯 LC_{40}，LC_{30} 和 LC_{20} 剂量处理朱砂叶螨雌成螨后，可刺激 F_0 代雌成螨产卵，使产卵量分别增加了 73.82%，186.97% 和 70.18%，而对成螨寿命、产卵期和雌雄性比没有影响；F_1 代的卵期、幼螨期和若螨期与对照没有显著性差异（$P>0.05$），而成螨期和雌成螨寿命均低于对照；对 F_1 代繁殖力的影响主要表现为产卵期缩短、产卵量减少和雌性比下降；子代种群的净生殖率（R_0）由 50.5976 最低降至 33.9910，世代平均历期（T）和种群倍增时间（Dt）均低于对照，各处理后的朱砂叶螨种群均存在适合度缺陷。这些结果表明，在亚致死剂量下，东莨菪内酯能够降低朱砂叶螨种群的发育和繁殖速率，这对东莨菪内酯在有害生物防治上的应用具有积极意义。

关键词：朱砂叶螨；东莨菪内酯；触杀活性；亚致死效应；生命表；生长发育；繁殖
中图分类号：S482.5 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296(2011)12-1377-07

Sublethal effects of scopoletin on the experimental population of the carmine spider mite, *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) (Acari: Tetranychidae)

YONG Xiao-Ju, ZHANG Yong-Qiang, DING Wei* (College of Plant Protection, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: In order to clarify the sublethal effects of scopoletin on the experimental population of *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval), and provide the theoretical basis for the further development and application of scopoletin used as a plant-derived acaricide, we used the leaf disc bioassay to evaluate the effects of scopoletin at sublethal dosages on F_0 and F_1 populations. The results showed that the fecundity of female adults treated with scopoletin at three sublethal dosages (LC_{40}, LC_{30} and LC_{20}) was increased by 73.82%, 186.97% and 70.18%, respectively, while the longevity, oviposition duration and frmale-to-male sex ratios were not affected. The duration of oviposition, larval and nymphal stages was not significantly different from that of the control ($P>0.05$), but the adult period and female longevity were shorter than those of the control. The F_1 generation displayed shortened oviposition duration, reduced fecundity and decreased the proportion of females when compared with the control. The net reproductive rate (R_0) dropped from 50.5976 to the lowest 33.9910, the mean generation time (T) and population doubling time (Dt) were all shorter than those of the control, and fitness defects appeared in all three treatment populations. The results indicate that scopoletin treatment at sublethal dosages can reduce the development and reproduction rates of *T. cinnabarinus* populations, and this provides positive evidence for application of scopoletin in pest management.

Key words: *Tetranychus cinnabarinus*; scopoletin; contact toxicity; sublethal effect; life table; growth and development; reproduction

朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus*（Boisduval）是一种重要的世界性害螨，在我国华南、西北、西南、东北等地发生普遍，主要为害棉花、茄子、菜豆、辣椒、番茄、西番莲、康乃馨等 100 多种粮食

基金项目：科技部农业科技成果转化基金项目(2010GB2F100388)；教育部博士点新教师基金项目(20100182120021)
作者简介：雍小菊，女，1987 年生，新疆博乐人，硕士研究生，研究方向为天然产物农药，E-mail：yongxiaoju@126.com
*通讯作者 Corresponding author，E-mail：dwing818@yahoo.com.cn
收稿日期 Received：2011-08-18；接受日期 Accepted：2011-10-17

作物、经济作物、观赏植物及杂草。通常情况下，朱砂叶螨完成一个世代只需要一周左右，并且存在严重的世代重叠，还具有较高的生殖潜能，再加上杀螨剂的频繁使用，导致其对于多种杀螨剂迅速产生抗性（Sertkaya *et al*., 2010）。因此，安全、高效、对环境友好的植物源杀螨剂的出现使得替代化学农药成为可能，近年来引起了国内外学者的广泛关注。

东莨菪内酯是自然界广泛存在的香豆素类化合物，具有多种药理活性，可调节血压，有抑菌活性、抗炎活性，可用于治疗支气管疾病和哮喘，能调节激素平衡，帮助减轻焦虑和抑郁症（Silva *et al*., 2001）。同时，已有研究证实，东莨菪内酯对朱砂叶螨具有触杀和内吸活性（梁为等，2010；张永强等，2011），并且还有杀虫活性（Vera *et al*., 2006；Tripathi *et al*., 2011），抑菌活性和生长调节作用（Shukla *et al*., 1999；Peterson *et al*., 2003），还能诱导植物产生抗性（Rodov *et al*., 1994；Leszczynski *et al*., 1995）。

在以前的研究中，评价杀螨剂对害螨的效果通常用致死中量（LD_{50}）或致死中浓度（LC_{50}）来表示，但是这种方法只能表现出害螨在某一生命阶段对药剂的反应（Kammenga and Laskowski, 2000）。生命表技术可以从种群水平上分析种群动态规律，能较好地阐明杀虫剂对供试昆虫的亚致死效应（Day and Kaushik, 1987）。本研究选用LC_{20-40}作为亚致死浓度，测定了东莨菪内酯对朱砂叶螨成螨的毒力，以种群生命表技术研究亚致死效应，并对有关生命表参数进行了统计分析，旨在评价东莨菪内酯亚致死剂量在朱砂叶螨种群水平上的全面影响，为其作为植物源杀螨剂的开发应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

朱砂叶螨敏感品系：最初采自重庆市北碚区田间的豇豆苗上，在人工气候室内26±1℃，RH 60%~80%，光照周期14L∶10D条件下用盆栽豇豆苗饲养多年所获得的品系。

1.2 供试样品

东莨菪内酯Scopoletin，含量≥99%，购买自上海顺勃生物工程技术有限公司，实验时加5%的丙酮和1%的吐温-80使其溶解，加水定容后供试。

1.3 亚致死剂量的确定

采用叶碟浸渍法（黄素青等，2005；雍小菊等，2011）：选取直径为7.0 cm，高为0.9 cm带有紧盖的塑料培养皿，在培养皿内铺上脱脂棉和滤纸，加水直至饱和而不滴水。将新鲜的豇豆苗叶剪成直径约5.0 cm的叶碟放入培养皿内，叶背朝上放置，叶片紧贴滤纸。往培养皿内加浅水形成孤岛状，以防叶螨外逃和叶片干枯。每张叶片接30头左右3~5日龄的雌成螨，置于养虫室中30~60 min后，在双目解剖镜下剔除死亡或不活泼的个体，记载实际的螨头数，作为供试基数。将供试药剂配成5个浓度梯度（1，0.5，0.25，0.125和0.0625 mg/mL），并采用相同溶剂配比的水溶液作为对照。将粘有雌成螨的叶片浸入事先配置好的药剂中，轻轻摇动，5 s后取出，用吸水纸迅速吸干螨体及其周围多余的药液，叶片平放在培养皿中。在同饲养条件下分别放置24 h，48 h和72 h后，记录螨的死亡数，每个浓度重复3次，处理约90头螨。实验完毕，计算校正死亡率。

1.4 对成螨的亚致死效应的测定

采用LC_{40}，LC_{30}和LC_{20}浓度溶液进行浸叶处理，方法同上，将处理48 h后的存活个体转移至新鲜叶碟，让其产卵12 h，然后移走成螨，留取约60粒卵（F_1代）观察其孵化情况。待卵孵化后，将幼螨转移至新鲜的叶碟上单头饲养，并且每天记录其蜕皮及存活情况。至成螨后，记录雌雄比例，同时用镊子将雄成螨及其叶碟剔除，仅留下雌成螨继续饲养，然后每叶接1头雄成螨与之交配，每24 h记录一次产卵数，直至雌成螨死亡。另以清水处理作为对照。

1.5 数据统计与分析

采用Microsoft Excel 2003和SPSS 13.0软件对数据进行处理，采用Duncan氏新复极差法进行差异显著性分析。根据Birch（1948）和丁岩钦（1994）的方法组建朱砂叶螨的实验种群生命表，计算各项生命参数：内禀增长率（$r_m = \ln R_0/T$）；净生殖率（$R_0 = \sum l_x m_x$）；世代平均历期（$T = \sum l_x m_x X/R_0$）；周限增长率（$\lambda = e^{r_m}$）；种群倍增时间（$Dt = \ln 2/r_m$）；相对适合度［$Rf = R_0(T)/R_0(C)$］，其中T和C分别指处理和对照种群，X表示以日为单位的时间间隔，l_x表示任一个体在X期间存活的概率，m_x表示在X期间平均每雌产雌数。

2 结果与分析

2.1 东莨菪内酯对朱砂叶螨雌成螨的触杀活性和亚致死剂量

从表 1 可以看出，东莨菪内酯对朱砂叶螨雌成螨具有很好的触杀活性。处理 48 h 后的毒力回归方程为 $y = 2.1617 + 1.1481x$，$r = 0.9523$。计算得到 LC_{50} 为 0.2966 mg/mL。其中处理后 48 h 的 LC_{40}，LC_{30} 和 LC_{20} 分别为 0.1795，0.1046 和 0.0556 mg/mL，并采用这 3 个浓度测定了东莨菪内酯对朱砂叶螨雌成螨的亚致死效应。

表 1 东莨菪内酯对朱砂叶螨雌成螨的致死中浓度和亚致死剂量

Table 1 Median lethal concentrations and sublethal dosages of scopoletin against *Tetranychus cinnabarinus* female adults

处理时间(h) Treatment time	毒力回归方程 LC-P equation	相关系数 *R*	致死中浓度 LC_{50} (Mean ± *SE*) (mg/mL)	LC_{40} (mg/mL)	LC_{30} (mg/mL)	LC_{20} (mg/mL)
24	$y = 1.5543 + 1.2278x$	0.9824	0.6404 ± 0.1118	0.3952	0.2406	0.1346
48	$y = 2.1617 + 1.1481x$	0.9523	0.2966 ± 0.0386	0.1795	0.1046	0.0556
72	$y = 2.2073 + 1.2308x$	0.9475	0.1857 ± 0.0234	0.1157	0.0683	0.0368

2.2 东莨菪内酯亚致死剂量对 F_0 代朱砂叶螨的影响

不同亚致死剂量东莨菪内酯处理朱砂叶螨雌成螨后，每雌产卵量出现了不同程度的增加，其中 LC_{30} 处理后的每雌产卵量明显高于对照（$P < 0.05$），增加了 186.97%，LC_{40} 增加了 73.82%，LC_{20} 增加了 70.18%。各处理的成螨平均寿命和产卵期与对照相比均无显著性差异（$P > 0.05$）。各处理的雌雄性比均在 4 ~ 5 之间，与对照相比也无显著性差异（$P > 0.05$）（表 2）。

表 2 东莨菪内酯亚致死剂量处理对朱砂叶螨成螨产卵量、寿命、产卵期及性比的影响

Table 2 Effects of sublethal dosages of scopoletin on the fecundity, longevity, oviposition duration and sex ratio of *Tetranychus cinnabarinus* adults

处理 Treatment	每雌产卵量(粒) Number of eggs laid per female	成螨寿命(d) Adult longevity	产卵期(d) Oviposition duration	性比(♀/♂) Sex ratio
清水 Water (CK)	44.50 ± 4.23 a	14.68 ± 0.46 a	10.59 ± 0.21 a	4.37 ± 0.23 a
LC_{20}	75.73 ± 5.32 b	15.52 ± 0.38 a	11.10 ± 0.54 a	4.42 ± 0.11 a
LC_{30}	127.70 ± 4.35 c	13.93 ± 0.67 a	9.73 ± 0.48 a	4.89 ± 0.13 a
LC_{40}	77.35 ± 4.25 b	14.90 ± 0.21 a	9.88 ± 0.24 a	4.89 ± 0.12 a

表中数据为平均值 ± 标准误；同列数据后不同字母表示在 $P < 0.05$ 水平差异显著（Duncan's 新复极差法）；表 3 ~ 4 同。Values in the table are means ± *SE*, and those within the same column followed by different letters are significantly different ($P < 0.05$) (Duncan's new multiple range test). The same for Tables 3 – 4.

2.3 东莨菪内酯亚致死剂量对 F_1 代朱砂叶螨发育历期的影响

不同亚致死剂量东莨菪内酯处理朱砂叶螨成螨后，F_1 代的发育历期表现出了一定的差异。其中卵期、幼螨期和若螨期与对照相比并无显著性差异（$P > 0.05$），卵期平均为 4.4 d，幼螨期平均为 1.4 d，若螨期平均为 2.9 d。各处理的成螨期、雌成螨平均寿命较对照均出现缩短，其中成螨期以 LC_{20} 处理的最短，比对照缩短了 24.74%，其次是 LC_{40}，缩短了 17.79%；雌成螨的寿命也以 LC_{20} 处理的最短，平均比对照缩短了 3.56 d (15.14%)，LC_{40} 处理后寿命缩短了 2.71 d（表 3）。

2.4 东莨菪内酯亚致死剂量对 F_1 代朱砂叶螨繁殖力的影响

不同亚致死剂量东莨菪内酯处理朱砂叶螨后，对子代的繁殖能力产生了一定的影响，主要表现在产卵期、产卵后期、产卵量以及雌性比上。各处理的产卵期与对照相比均缩短，其中 LC_{20} 处理的产卵期最短，与对照存在显著性差异（$P < 0.05$），缩短了 26.88%，其次是 LC_{40}，缩短了 17.99%；各处理的每雌产卵量均小于对照，以 LC_{40} 处理与对照差异最显著（$P < 0.05$），减少了 27.79%；各处理的雌性比均低于对照，LC_{40} 处理后的雌性比最低，为 78.33%（表 4）。

表 3 东莨菪内酯亚致死剂量处理对 F_1 代朱砂叶螨发育历期的影响

Table 3 Effects of sublethal dosages of scopoletin on developmental duration of F_1 generation of *Tetranychus cinnabarinus*

处理 Treatment	卵期(d) Egg period	幼螨期(d) Larval period	若螨期(d) Nymphal period	成螨期(d) Adult period	雌成螨平均寿命(d) Female longevity
清水 Water (CK)	4.4167 ±0.0867 a	1.4167 ±0.0877 a	3.0167 ±0.1706 a	14.6491 ±0.6775 c	23.5439 ±0.6833 c
LC_{20}	4.4000 ±0.0638 a	1.4000 ±0.0627 a	3.0167 ±0.1585 a	11.0625 ±0.8014 a	19.9792 ±0.7594 a
LC_{30}	4.4500 ±0.0689 a	1.4500 ±0.0679 a	2.6333 ±0.0822 a	13.9636 ±0.7789 bc	22.4909 ±0.8082 bc
LC_{40}	4.4500 ±0.0648 a	1.4667 ±0.0692 a	2.9000 ±0.1709 a	12.0426 ±0.8318 ab	20.8297 ±0.7822 ab

表 4 东莨菪内酯亚致死剂量处理对 F_1 代朱砂叶螨繁殖力的影响

Table 4 Effects of sublethal dosages of scopoletin on fecundity of F_1 generation of *Tetranychus cinnabarinus*

处理 Treatment	产卵前期(d) Pre-oviposition duration	产卵期(d) Oviposition duration	产卵后期(d) Post-oviposition duration	每雌产卵量(粒) Number of eggs laid per female	雌性比[♀/(♀+♂)] Proportion of females (%)
清水 Water (CK)	1.2982 ±0.0829 a	11.5965 ±0.6079 c	1.7544 ±0.2128 b	87.5455 ±5.5736 b	95.00
LC_{20}	1.5000 ±0.2325 a	8.4792 ±0.6969 a	1.0833 ±0.1782 a	76.6500 ±5.1061 ab	80.00
LC_{30}	1.3818 ±0.0988 a	10.9818 ±0.6789 bc	1.6000 ±0.2301 ab	77.1321 ±4.8662 ab	91.67
LC_{40}	1.3617 ±0.1375 a	9.5106 ±0.7669 ab	1.1702 ±0.1647 ab	63.2143 ±4.6192 a	78.33

2.5 东莨菪内酯亚致死剂量对 F_1 代朱砂叶螨生命表参数的影响

朱砂叶螨种群的内禀增长率、净生殖率、周限增长率、世代平均历期等参数随着东莨菪内酯浓度的不同呈现不同的变化趋势。其中内禀增长率以 LC_{40}处理的最小，LC_{20}处理的最大；净生殖率则以对照的最大，其他各处理均低于对照，其中 LC_{40}处理的最低；周限增长率同内禀增长率的变化趋势一样，也以 LC_{40}最小，LC_{20}的最大；世代平均历期以对照的最长，其余处理均缩短，其中 LC_{20}处理缩短得最多，缩短了 10.96%；种群倍增时间以 LC_{40}的最长；各处理与对照相比，种群相对适合度均有所下降，其中 LC_{40}处理后的朱砂叶螨种群存在明显的适合度缺陷（表 5）。

表 5 东莨菪内酯亚致死剂量处理对 F_1 代朱砂叶螨生命表参数的影响

Table 5 Effects of sublethal dosages of scopoletin on life table parameters of F_1 generation of *Tetranychus cinnabarinus*

处理 Treatment	内禀增长率 r_m	净生殖率 R_0	周限增长率 λ	世代平均历期 T	种群倍增时间 Dt	相对适合度 Rf
清水 Water (CK)	0.2925	50.5976	1.3397	13.4159	2.3699	1.0000
LC_{20}	0.3041	37.7986	1.3553	11.9461	2.2797	0.7470
LC_{30}	0.2907	43.0358	1.3374	12.9395	2.3841	0.8506
LC_{40}	0.2820	33.9910	1.3258	12.5035	2.4579	0.6718

3 讨论

3.1 亚致死剂量对螨类发育历期的影响

在亚致死效应的研究报道中，许多都表明亚致死剂量的杀螨剂能延长螨类未成熟期的发育历期，而缩短成螨期及其寿命，如 He 等（2011）研究亚致死剂量（LC_{20}）的阿维菌素对桔全爪螨 *Panonychus citri* 的影响时就发现，阿维菌素显著影响了幼螨期和若螨期，同时产卵前期和成螨寿命缩短，导致世代平均历期缩短；谷清义等（2010b）发现阿维菌素和哒螨灵 LC_{20}和 LC_{10}剂量处理土耳其斯坦叶螨 *Tetranychus turkestani* 成螨后，卵期、幼螨期、若螨期和产卵前期明显延长，而成螨期和雌螨寿命又明显低于对照；Marcic（2005）研究发现亚致死剂量的吡螨胺处理二斑叶螨 *Tetranychus urticae*

雌螨后，卵和幼螨的发育历期延长了 1 d，前若螨和后若螨期延长了 2 d，而雌成螨的寿命缩短了。本研究采用不同亚致死剂量的东莨菪内酯处理朱砂叶螨后，F_0 代种群的产卵期和成螨的寿命与对照相比均无显著性差异（$P>0.05$），而 F_1 代种群的发育历期则受到了一定的影响，卵期、幼螨期和若螨期与对照无显著差异（$P>0.05$），但是各处理的成螨期和寿命均低于对照，其中以最低浓度的 LC_{20} 差异最为显著（$P<0.05$），分别缩短了 17.79% 和 15.14%，说明亚致死剂量的东莨菪内酯对朱砂叶螨种群发育历期的影响主要表现在缩短子代的成螨期，进而缩短其平均寿命。

3.2　亚致死剂量对螨类繁殖力的影响

药剂的亚致死剂量可能刺激害螨的生殖，如李定旭等（2006）研究发现山楂叶螨 *Tetranychus viennensi* 若螨接触 LC_{10} 剂量的甲氰菊酯后，对雌螨的产卵有明显的刺激作用；徐学农等（1998）研究发现唑螨酯 LC_{50} 在间接施药（处理桃叶）情况下对雌成螨具有刺激生殖的显著作用，产卵量是对照组的1.95 倍。还有许多研究也证实了这一观点（Kerns and Stewart，2000；沈慧敏和张新虎，2002；Marcic，2003）。但另有许多研究发现采用亚致死剂量的药剂处理能够显著降低雌成螨的产卵量，如谷清义等（2010b）研究阿维菌素和哒螨灵 LC_{20} 和 LC_{10} 剂量处理土耳其斯坦叶螨成螨后，可使成螨的产卵量显著降低，次代种群平均每雌日产卵率也明显降低；陶士强等（2006）发现朱砂叶螨成螨经克螨特亚致死剂量处理后，雌螨总产卵量显著低于对照组；李定旭等（2006）发现山楂叶螨成螨期接触 LC_{10} 和 LC_{25} 剂量的阿维菌素、甲氰菊酯及三唑锡可使成螨的产卵量显著降低。本研究发现亚致死剂量的东莨菪内酯对 F_0 代朱砂叶螨种群产生了刺激产卵的作用，各处理的产卵量均显著增加（$P<0.05$），其中 LC_{30} 处理后增加了 186.97%，LC_{40} 增加了 73.82%，LC_{20} 增加了 70.18%。对 F_1 代繁殖力的影响主要表现为产卵期缩短、产卵量减少和雌性比下降，各处理的产卵量以 LC_{40} 下降的最多，比对照减少了 27.79%，同时产卵期以 LC_{20} 的影响最大（缩短了 26.88%），雌性比以 LC_{40} 的最低（为 78.33%）。测定东莨菪内酯亚致死剂量对 F_0 代朱砂叶螨产卵量的影响时，对照种群的每雌产卵量为 44.50 ± 4.23（表 2），而测定东莨菪内酯对 F_1 代朱砂叶螨产卵量的影响时，对照种群的每雌产卵量为 87.5455 ± 5.5736（表 4），存在较大的差异，这可能是由产卵时间和产卵环境的不同造成的。测定 F_0 代产卵时采用的是药剂处理雌成螨 48 h 之后仍然存活的个体，而测定 F_1 代产卵时采用的是从若螨羽化而来的雌成螨，因此 F_1 代雌成螨的产卵时间至少多48 h；测定 F_0 代时存活的雌成螨个体会被转移到新鲜的叶片上产卵，测定 F_1 代时则不会改变雌成螨产卵的位置，而 F_0 代雌成螨产卵环境的改变也可能会影响到螨的适应性，进而影响其产卵。

采用亚致死剂量的药剂处理后短期内刺激了害虫或害螨的产卵，这可能是毒物兴奋效应引起的，即接触低剂量杀虫剂或杀螨剂呈刺激或促进作用，而高剂量接触则呈抑制作用（黄柯程等，2010）。低剂量杀虫剂或杀螨剂所引起的毒物兴奋效应在一些昆虫和螨中都有出现，其导致了有害生物的再生猖獗（Gerson and Cohen，1989；Morse and Zareh，1991）。杀虫剂的亚致死剂量能引起昆虫的不良效应，也可引起刺激效应，而其仅对昆虫的某些指标具有刺激作用，对其他指标为抑制作用，毒物兴奋效应对昆虫的某些指标具有刺激效应的同时，对其他指标并不抑制。因此，Cohen（2006）将亚致死剂量所引起的刺激效应归结到毒物兴奋效应中。本研究中亚致死剂量的东莨菪内酯仅对 F_0 代朱砂叶螨雌成螨的产卵量有刺激作用，而对寿命、产卵期和雌性比均没有显著的影响（$P>0.05$）。所以，此现象应该是由毒物兴奋效应所致。

3.3　亚致死剂量对种群生命表参数的影响

生命表参数是评价药剂对昆虫或螨类种群全面影响的重要方法。本研究发现东莨菪内酯亚致死剂量处理朱砂叶螨雌成螨后，净生殖率均降低，其中又以最高浓度（LC_{40}）时最低，说明东莨菪内酯亚致死剂量能有效抑制朱砂叶螨种群的增长速率。很多研究也得到相同的结果，如谷清义等（2010a）采用 LC_{20} 和 LC_{10} 的螺螨酯处理土耳其斯坦叶螨成螨后，F_1 代种群的净生殖率由 56.6207 分别降至14.0148 和 12.8570；Yin 等（2008）发现多杀菌素 LC_{25} 和 LC_{50} 剂量能使小菜蛾 *Plutella xylostella* 子代的净增值率显著降低；王德森等（2011）研究发现亚致死浓度 LC_{30} 的阿维菌素、嗅虫腈、杀螟丹、丁醚脲、多杀霉素和氟虫睛处理卷蛾分索赤眼蜂 *Trichogrammatoidae bactrae* 后，其净生殖力明显低于对照（$P<0.05$）。

本研究只探讨了东莨菪内酯亚致死剂量处理朱砂叶螨成螨后对种群的亚致死效应，并没有对其若

螨阶段进行研究，并且只选用了一种植物源活性物质，因此，有必要选用多种杀螨剂对朱砂叶螨不同的发育阶段进行进一步研究。同时，本实验只选取了 LC_{40}，LC_{30} 和 LC_{20} 3 个亚致死剂量进行研究，而某种意义上 LC_{50} 也可视为亚致死剂量，并且对种群生态的研究具有更加重要的意义，因此应当进一步对 LC_{50} 的生物学意义进行深入细致的研究。此外，本研究仅在室内测定了亚致死效应，由于朱砂叶螨在田间接触药剂的量及方式与室内不完全一致，会受到各种因素的影响，所以从理论上还应针对东莨菪内酯的相关制剂进行相应的田间试验，以便更准确地评价东莨菪内酯对朱砂叶螨的影响，从而为其防治过程中的合理施用提供科学依据。

参 考 文 献 (References)

Birch LC, 1948. The intrinsic rate of natural increase of an insect population. *Journal of Animal Ecology*, 17(1): 15 – 26.

Cohen E, 2006. Pesticide-mediated homeostatic modulation in arthropods. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 85(1): 21 – 27.

Day K, Kaushik NK, 1987. An assessment of the chronic toxicity of the synthetic pyrethroid, fenvalerate, to *Daphnia galeata mendotae*, using life tables. *Environmental Pollution*, 44(1): 13 – 26.

Ding YQ, 1994. Insect Mathematic Ecology. Science Press, Beijing. 153 – 170. [丁岩钦, 1994. 昆虫数学生态学. 北京: 科学出版社. 153 – 170]

Gerson U, Cohen E, 1989. Resurgences of spider mites (Acari: Tetranychidae) induced by synthetic pyrethroids. *Experimental and Applied Acarology*, 6: 29 – 46.

Gu QY, Chen WB, Wang LJ, Jiao XD, Zhang JP, 2010a. Sublethal effects of spirodiclofen on *Tetranychus turkestani* population in lab. *Journal of Shihezi University (Natural Science)*, 28(6): 685 – 689. [谷清义, 陈文博, 王利军, 焦旭东, 张建萍, 2010a. 螺螨酯对土耳其斯坦叶螨实验种群的亚致死效应. 石河子大学学报(自然科学版), 28(6): 685 – 689]

Gu QY, Chen WB, Wang LJ, Shen J, Zhang JP, 2010b. Effects of sublethal dosage of abamectin and pyridaben on life table of laboratory populations of *Tetranychus turkestani* (Acari: Tetranychidae). *Acta Entomologica Sinica*, 53(8): 876 – 883. [谷清义, 陈文博, 王利军, 申君, 张建萍, 2010b. 阿维菌素和哒螨灵亚致死剂量对土耳其斯坦叶螨实验种群生命表的影响. 昆虫学报, 53(8): 876 – 883]

He HG, Jiang HB, Zhao ZM, Wang JJ, 2011. Effects of a sublethal concentration of avermectin on the development and reproduction of citrus red mite, *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae). *International Journal of Acarology*, 37(1): 1 – 9.

Huang KC, Zeng XN, Li ZY, 2010. Insecticides-induced hormesis on insects. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 5(1): 26 – 31. [黄柯程, 曾鑫年, 黎卓莹, 2010. 低剂量杀虫剂对昆虫的兴奋性效应. 生态毒理学报, 5(1): 26 – 31]

Huang SQ, Xu HH, Zeng DQ, Li XF, 2005. Bioassay methods for agricultural field mites. *Plant Protection*, 30(1): 79 – 81. [黄素青, 徐汉虹, 曾东强, 李新芳, 2005. 农田害螨的几种生物测定方法. 植物保护, 30(1): 79 – 81]

Kammenga J, Laskowski R, 2000. Demography in Ecotoxicology. Wiley & Sons, New York. 298 pp.

Kerns DL, Stewart SD, 2000. Sublethal effects of insecticides on the intrinsic rate of increase of cotton aphid. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 94(1): 41 – 49.

Leszczynski B, Tjallingii WF, Dixon AFG, Swiderski R, 1995. Effect of methoxyphenols on grain aphid feeding behaviour. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 76(2): 157 – 162.

Li DX, Tian J, Shen ZR, 2006. Sublethal effects of selected insecticides on the hawthorn spider mite, *Tetranychus viennensis*. *Acta Phytophylacica Sinica*, 33(2): 187 – 192. [李定旭, 田娟, 沈佐锐, 2006. 不同药剂对山楂叶螨的亚致死效应. 植物保护学报, 33(2): 187 – 192]

Liang W, Cheng J, Shi GL, Wang YN, Bai XN, 2010. Acaricidal activity and action mechanism of scopoletin. *Acta Horticulturae Sinica*, 37(Suppl.): 2200. [梁为, 成军, 师光禄, 王有年, 白雪娜, 2010. 东莨菪内酯的杀螨活性及其作用机理. 园艺学报, 37(增刊): 2200]

Marcic D, 2003. The effects of clofentezine on life-table parameters in two-spotted spider mite *Tetranychus urticae*. *Experimental and Applied Acarology*, 30(4): 249 – 263.

Marcic D, 2005. Sublethal effects of tebufenpyrad on the eggs and immatures of two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae*. *Experimental and Applied Acarology*, 36(3): 177 – 185.

Morse JG, Zareh N, 1991. Pesticide-induced hormoligosis of citrus thrips (Thysanoptera: Thripidae) fecundity. *Journal of Economic Entomology*, 84(4): 1169 – 1174.

Peterson JK, Harrison HF, Jackson DM, Snook ME, 2003. Biological activities and contents of scopolin and scopoletin in sweetpotato clones. *Horticultural Science*, 38(6): 1129 – 1133.

Rodov V, Ben-Yehoshua S, Fang D, D'hallewin G, Castia T, 1994. Accumulation of phytoalexins scoparone and scopoletin in citrus fruits subjected to various postharvest treatments. *Acta Horticulturae*, 381: 517 – 524.

Sertkaya E, Kaya K, Soylu S, 2010. Acaricidal activities of the essential oils from several medicinal plants against the carmine spider mite (*Tetranychus cinnabarinus* Boisd.) (Acarina: Tetranychidae). *Industrial Crops and Products*, 31(1): 107 – 112.

Shen HM, Zhang XH, 2002. Influence of cyhalothrin and fenpropathrin on life-vigor and fecundity of *Tetranychus urticae* Koch. *Acta Phytophylacica Sinica*, 29(2): 183 – 188. [沈慧敏, 张新虎, 2002. 三氟氯氰菊酯和甲氰菊酯对二点叶螨生命活力及繁殖力的影响. 植物保护学报, 29(2): 183 – 188]

Shukla YN, Srivastava A, Kumar S, Kumar S, 1999. Phytotoxic and antimicrobial constituents of *Argyreia speciosa* and *Oenothera biennis*. *Journal of Ethnopharmacology*, 67(2): 241 – 245.

Silva WPK, Deraniyagala SA, Wijesundera RLC, Karunanayake EH, Priyanka UMS, 2001. Isolation of scopoletin from leaves of *Hevea*

brasiliensis and the effect of scopoletin on pathogens of *H. brasiliensis*. *Mycopathologia*, 153(4): 199－202.

Tao SQ, Wu FA, Cheng JL, 2006. The effect of sublethal dose of propargite on life table parameters of carmine spider mite, *Tetranychus cinnabarinus* Boisduval. *Science of Sericulture*, 32(3): 411－413. [陶士强，吴福安，程嘉翎，2006. 杀螨剂"克螨特"亚致死剂量对朱砂叶螨实验种群生命参数的影响. 蚕业科学，32(3): 411－413]

Tripathi AK, Bhakuni RS, Upadhyay S, Gaur R, 2011. Insect feeding deterrent and growth inhibitory activities of scopoletin isolated from *Artemisia annua* against *Spilarctia obliqua* (Lepidoptera: Noctuidae). *Insect Science*, 18(2): 189－194.

Vera N, Popich S, Luna L, Cravero R, Sierra MG, Bardón A, 2006. Toxicity and synergism in the feeding deterrence of some coumarins on *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidae). *Chemistry & Biodiversity*, 3(1): 21－26.

Wang DS, Pan F, He YR, Guo XL, Chen Q, 2011. Sublethal effects of eleven insecticides of different categories on reproduction of *Trichogrammatoidae bactrae* Nagaraja (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Acta Entomologica Sinica*, 54(1): 56－63. [王德森，潘飞，何余容，郭祥令，陈俏，2011. 11 种不同类型杀虫剂对卷蛾分索赤眼蜂繁殖的亚致死效应. 昆虫学报，54(1): 56－63]

Xu XN, Wang G, Gao SP, 1998. Effects of sublethal concentration of fenpyroximate on reproduction of *Tetranychus viennensis* Zacher. *Journal of Anhui Agricultural University*, 25(4): 352－355. [徐学农，王刚，高仕朋，1998. 杀螨王的亚致死浓度处理桃叶对山楂叶螨雌成螨生殖的影响. 安徽农业大学学报，25(4): 352－355]

Yin XH, Wu QJ, Li XF, Zhang YJ, Xu BY, 2008. Sublethal effects of spinosad on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Crop Protection*, 27(10): 1385－1391.

Yong XJ, Ding W, Zhang YQ, Li MX, 2011. Bioactivity and action modes of bisdemethoxycurcumin against *Tetranychus cinnabarinus* Bois. (Acari: Tetranychidae). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 22(6): 1592－1598. [雍小菊，丁伟，张永强，李明霞，2011. 双去甲氧基姜黄素对朱砂叶螨的生物活性及作用方式. 应用生态学报，22(6): 1592－1598]

Zhang YQ, Ding W, Wang DZ, 2011. The resistance evaluation of *Tetranychus cinnabarinus* against natural acaricidal compound scopoletin. *Agrochemicals*, 50(3): 226－228. [张永强，丁伟，王丁祯，2011. 朱砂叶螨对天然杀螨活性物质东莨菪内酯的抗性评价. 农药，50(3): 226－228]

（责任编辑：赵利辉）